

## Ueber den Zusammenhang zwischen Schichtung und Blätterung und über die Bewegung der Gletscher.

Von **Hans Crammer** in Salzburg.

HANS HESS theilte in diesem Jahrbuch<sup>1</sup> seine Anschauung über den Zusammenhang zwischen Schichtung und Bänderung<sup>2</sup> der Gletscher mit. Es freut mich, mit HESS in dieser Richtung in Uebereinstimmung zu sein, weil wir beide durch von einander ganz unabhängiges Studium zu dem gleichen Resultat gelangten, und ich darin eine Art gegenseitiger Bürgschaft für die Richtigkeit unserer Ansichten erkenne<sup>3</sup>.

Ein Differenzpunkt besteht aber doch. Im Frühjahr 1901 habe

---

<sup>1</sup> H. HESS: Ueber den Zusammenhang zwischen Schichtung und Bänderung der Gletscher. N. Jahrb. f. Min. etc. Jahrg. 1902. Bd. I. S. 23—34.

<sup>2</sup> Der Benennung »Bänderung« ziehe ich im Folgenden den Namen »Blätterung« vor, weil dieser das Wesen der Sache trifft, während jene sich nur auf das Ausgehende der Blätterung bezieht. Die von mir gebrauchten Bezeichnungen: »Blätterung« und »Blattflächen« sind also mit jenen von HESS: »Bänderung« und »Grenzflächen der Bänder« gleichbedeutend.

<sup>3</sup> Nach Abfassung dieses Manuskriptes theilte mir Professor A. PENCK mit, H. F. REID hat schon am Internationalen Geologen-Congress zu Paris 1900 den Zusammenhang zwischen Schichtung und Blätterung ausgesprochen.

ich in einem Vortrag<sup>1</sup> darauf hingewiesen, dass sich die Blätter, in welche die Schichten des Firnfeldes durch die Bewegung ausgewalzt werden, in die Richtung des Fliessens stellen. Im darauffolgenden Sommer gewann ich beim Besuche mehrerer Oetzthaler-gletscher die Ueberzeugung, die Schicht- und Blattflächen sind Flächen der Differenzialbewegung des Eises. Im direkten Gegensatz hierzu sagt aber HESS im letzten Absatz seiner Arbeit, dass die Grenzflächen der Blätter (= Bänder) keine Bedeutung für die Differenzialbewegung der Gletschermasse haben, soweit nicht stellenweise sehr grosse Schuttmassen zwischen den Blättern eingebettet liegen. — Mit der Abfassung einer grösseren Arbeit über Gletscher-structur und Bewegung beschäftigt, komme ich der von HESS an mich ergangenen Aufforderung gerne nach, mich über diesen streitigen Punkt zu äussern.

Die verschiedenen Geschwindigkeiten, welche man quer über die Gletscherzungen auf deren Oberfläche gefunden hat, schliessen bekanntlich vollkommen aus, dass die Bewegung der Gletscher in einem Gleiten der Masse als Ganzes bestehe. Es müssen Verschiebungen von Eistheilen eintreten. Dieselben können entweder von Molekül zu Molekül oder in der Art stattfinden, dass sich die Verschiebungen auf bestimmte Flächen concentriren, wobei zwischen den Verschiebungsflächen Eismengen sich befinden, innerhalb welcher eine gegenseitige Verrückung der Moleküle ausgeschlossen ist. Die erste Bewegungsart ist nur in einer durch und durch homogenen Masse denkbar. Sobald aber die Masse ein Gefüge aus gesetzmässig angeordneten Molekülgruppen hat, steht zu erwarten, der Zusammenhang der Moleküle ist nicht überall der gleiche feste. Die bewegendenden Kräfte finden dann mancherorts einen geringeren Widerstand und die Moleküle werden sich gruppenweise nach den Flächen geringster Cohäsion aneinander verschieben.

Sehen wir diesbezüglich das Eis im Firnfeld an; denn dort nimmt die Bewegung ihren Anfang. — Das Firneis besitzt Korn-structur. Es ist aus lauter einzelnen, verschieden orientirten Eiskrystallen zusammengesetzt, hat also thatsächlich ein Gefüge aus gesetzmässig angeordneten Gruppen von Molekülen. — Das Firneis ist ferner geschichtet. Wie die Schichtung zustande kommt, schildert HESS auf Seite 24 zutreffend. Der von ihm erwähnte, auf jeder Schneeschichte sich sammelnde Verwitterungsstaub bildet im Firneise dünne, flächenförmig vertheilte Zwischenlagerungen von Fremdkörpern, welche die Schichtflächen markieren. Diesen feinen Staublagen kommt, wie ich seinerzeit eingehender auseinandersetzen werde, eine sehr wesentliche Bedeutung zu. Sie bilden nämlich durchlaufende Fugen zwischen den Krystallen benachbarter Schneeschichten, und verhindern bei der Umwandlung des Schnees in

<sup>1</sup> Den Vortrag hielt ich im geographischen Institut der Wiener Universität, wo sich allmonatlich ein Kreis von Geographen zusammenfindet.

Eis das Wachstum der Krystalle einer Schichte hinüber in die benachbarte Schichte. Sie halten die gegenseitige Verzahnung der Krystalle sich berührender Firneisschichten hintan, sind also Ursachen an der Erhaltung der Schichtflächen.

Im »gesunden«<sup>o</sup> Eise, das eine Temperatur unter  $0^{\circ}$  hat, nehmen wir weder in der Gletscherzunge noch im Firngebiet die Kornstructur wahr, weil die Körner fest aneinander gefroren sind. Durch Schlag oder rasch wachsenden Druck entsteht ein von der Kornstructur und Schichtung ganz unabhängig verlaufender muscheliger Bruch. Der Zusammenhang der Moleküle scheint sonach in diesem Eise weder an den Korngrenzen, noch an den Schichtflächen loser wie im Innern eines jeden Krystalles zu sein. Wenn aber das Eis auf  $0^{\circ}$  erwärmt wird, schmilzt es nicht nur an seiner Gesamtoberfläche, sondern auch zum Theil im Innern, indem der Schmelzprocess den gemeinsamen Grenzen benachbarter Körner folgend, der Oberflächenschmelzung in's Eisinnere vorausseilt. Hierdurch wird das Eis bis zu geringer Tiefe in die Einzelkrystalle zerlegt. Unterhalb der gelockerten Schichte bleiben die Korngrenzen dem freien Auge zwar noch immer unsichtbar. Ein mit mässiger Kraft ausgeführter Schlag erzeugt jedoch dort nicht mehr einen von der Kornstructur und Schichtung unabhängig verlaufenden muscheligen Bruch wie früher, indem die Bruchfläche jetzt, wenigstens stellenweise, den Korngrenzen und besonders den Schichtflächen folgt. Daraus geht sicher hervor, dass an den Korngrenzen und vorzugsweise an den Schichtflächen, welche eigentlich auch nichts als durchlaufende und durch Fremdkörper verunreinigte Korngrenzen sind, der Zusammenhalt der Moleküle im Eise bei einer Temperatur von  $0^{\circ}$ , also bei der Schmelztemperatur, ein schwächerer wie innerhalb eines jeden Kornes ist.

Temperaturmessungen, welche FOREL und HAGENBACH, BLÜMCKE und HESS, sowie v. DRYGALSKI anstellten, haben ergeben, dass mächtige Eislager in grösserem Abstände unter ihrer Oberfläche constant die Schmelztemperatur besitzen. Desshalb muss auch in diesen Tiefen das Gefüge nach den gemeinsamen Grenzen der Gletscherkörner und zwar besonders nach den Schichtflächen gelockert sein. Dazu kommt noch der Druck der überlagernden Eismassen, welcher im gleichen Sinne wie die Wärme wirkt. Weil im Firnfeld von Jahr zu Jahr neue Schichten zuwachsen, nimmt mit der Zeit der Druck in der Tiefe und damit der Grad der Lockerung des Gefüges nach den Korngrenzen und zwar wieder ganz besonders nach den Schichtflächen zu. Die Masse erlangt dadurch Bewegungsfähigkeit. Die eintretende Bewegung findet in der Weise statt, dass Verschiebungen nach den Flächen schwächerer Cohäsion vor sich gehen und zwar in ganz bevorzugter Weise nach den Schichtflächen, nicht nur weil längs derselben das Gefüge am meisten gelockert ist, sondern auch, weil sie als durchlaufende Flächen der einmal begonnenen Verschiebung kein Hinderniss in den Weg stellen.

Innerhalb der Schichten verlaufen die Korngrenzen ganz unregelmässig. Bei Verschiebungen von Korn zu Korn müsste sich darum dort die Bewegungsrichtung eines jeden Kornes fortwährend ändern, was wegen der benachbarten Körner, die keine übereinstimmende Bewegungsrichtung haben und die häufig gelenkartig ineinander verwachsen sind, nur in sehr beschränktem Maasse möglich ist.

Aus den vorstehenden Erwägungen ergibt sich: In den tieferliegenden Partien mächtiger Firneismassen ist der molekulare Zusammenhang im allgemeinen nach den Korngrenzen und im besonderen Maasse nach den Schichtflächen gelockert. Die bewegende Schwerkraft findet folglich nach den letztgenannten Flächen, da sie überdies durchlaufend sind, den geringsten Widerstand. Die Bewegung des Eises im Firnfeld besteht daher vorzugsweise im Uebereinandergleiten der tieferliegenden Firneisschichten, also in der Differenzialbewegung nach den Schichtflächen, auch dann, wenn keine Schuttmassen zwischengelagert sind. Die Verschiebungen von Korn zu Korn innerhalb jeder Schichte haben nur untergeordnete Bedeutung.

Auf diese Sache werde ich ein andermal zurückkommen, um den Uebergang der Schichtung in die Blätterung zu erläutern. Heute will ich nur bemerken, dass die Blattflächen als Theile alter Schichtflächen auch in der Zunge Flächen der Differenzialbewegung des Eises sind. Seine gegentheilige Ansicht bekräftigend, sagt Hess: »Würde man annehmen, dass von den in einanderliegenden Löffeln jeder die Summe der Differenzialgeschwindigkeiten der unter ihm befindlichen besitzt, so ergäbe sich, dass jeder einzelne Gletscherzufluss ungefähr in seiner Mitte ein Maximum der Geschwindigkeit haben müsste. An den Mittelmoränen zweier nahezu gleich mächtiger Gletscher müsste eine Abnahme der Geschwindigkeit gegen die der schutfreien Eislagen auf beiden Seiten beobachtet werden können. Die Erfahrung aber zeigt das Gegentheil, nämlich einen ganz stetigen Verlauf der Geschwindigkeitskurven auch über die Mittelmoräne hinweg — speciell in solchen Theilen zusammengesetzter Gletscher, in denen auf beiden Seiten der Mittelmoräne die Bänderung gut ausgebildet ist«.

Um meinen späteren Ausführungen nicht zu sehr vorzugreifen erwidere ich kurz: Die löffelförmige Anordnung der Blätter konnte ich nur in der Nähe der Zungenenden finden. Mag indess die Anordnung der Blätter ferne vom Ende im einfachen Gletscher wie immer beschaffen sein, so ist sie doch nur das Resultat der Einzwängung bewegter und geblätterter Eismassen in ein engeres Bett. Einen analogen Fall haben wir an der Vereinigungsstelle zweier Gletscher. Es muss sich daher in den vereinigten Eismassen jene einheitliche Anordnung der Blätter wie im einfachen Gletscher herausbilden. Die Naht, nach welcher die Innenmoräne ausapert, ist darum nicht als gemeinsames Ufer zweier nebeneinander fließender Eisströme aufzufassen; sie bildet nicht die Scheidewand zweier

Ströme, sondern die Mitte eines Stromes, der aus der Vereinigung zweier entstand. Man hat folglich trotz der Annahme der Differenzialbewegung nach Blattflächen wie im einfachen Gletscher, so auch im zusammengesetzten die Maximalgeschwindigkeit in der Mitte, das ist in unserem Falle an der Mittelmoräne zu erwarten.